



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 45 423 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 K 1/14**

②① Aktenzeichen: 198 45 423.6  
②② Anmeldetag: 2. 10. 1998  
②③ Offenlegungstag: 13. 4. 2000

DE 198 45 423 A 1

⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241  
München

⑦② Erfinder:  
Wittwer, Volker, Dr., 79112 Freiburg, DE; Gombert,  
Andreas, Dr., 79106 Freiburg, DE; Heinzel, Andreas,  
Dipl.-Phys., 79100 Freiburg, DE; Boerner, Volkmar,  
79106 Freiburg, DE; Graf, Wolfgang, Dipl.-Ing.,  
79427 Eschbach, DE

⑤⑤ Entgegenhaltungen:  
DE 197 08 776 C1  
DE 195 49 310 A1  
"Brockhaus abc Physik", VEB F.A., Brockhaus Verlag  
Leipzig, 1972, Bd.1, S. 852-857;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Heißer Strahler**

⑤⑦ Beschrieben wird ein heißer Strahler mit wenigstens  
einer Metalloberfläche, die elektromagnetische Strahlung  
wenigstens mit Wellenlängen im sichtbaren und infraro-  
ten Spektralbereich emittiert.  
Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die Metall-  
oberfläche eine Mikrostruktur mit Erhöhungen und Vertie-  
fungen aufweist, deren Strukturform und -tiefe derart ge-  
wählt ist, daß in wenigstens einem bestimmten Wellen-  
längenbereich der emittierten Strahlung optische Reso-  
nanzen innerhalb der Struktur auftreten.

DE 198 45 423 A 1

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf einen heißen Strahler mit wenigstens einer Metalloberfläche, die elektromagnetische Strahlung wenigstens mit Wellenlängen im sichtbaren und infraroten Spektralbereich emittiert.

## Stand der Technik

Auf dem Gebiet der Thermophotovoltaik, bei der eine energetische Umsetzung vorzugsweise von infraroter Strahlungsenergie in elektrische Energie erfolgt, werden an sich bekannte Photozellen eingesetzt, die die Strahlung von heißen Emittoren in elektrische Energie konvertieren. Heiße Emittoren, oder wie sie auch im konventionellen Sprachgebrauch als heiße Strahler benannt werden, können als graue Körper beschrieben werden, die in Abhängigkeit ihrer Eigentemperatur in unterschiedlichen Spektralbereichen elektromagnetische Strahlung emittieren.

Um eine möglichst vollständige Konversion zwischen der von einem heißen Strahler abgegebenen Strahlungsenergie in elektrische Energie zu erreichen, sollte die spektrale Empfindlichkeit der Photozelle weitgehend mit dem Spektrum der von dem heißen Strahler emittierten Strahlung übereinstimmen. Da das Strahlungsspektrum eines heißen Strahlers bei Temperaturen kleiner als 1500 K jedoch nicht mit der spektralen Empfindlichkeit einer Photozelle übereinstimmt, führt insbesondere der langwellige Teil des emittierten Spektrums zu einer unerwünschten Erwärmung der Photozelle, wodurch zum einen die Photozelle in ihrem Wirkungsgrad herabgesetzt und andererseits eben dieser Energieanteil des langwelligen, abgestrahlten Spektrums nicht in elektrische Energie umgesetzt werden kann.

Eine Möglichkeit der Anpassung ist die geeignete Manipulation der spektralen Empfindlichkeit der Photozelle selbst, der jedoch materialspezifische Grenzen gesetzt sind, da die spektrale Empfindlichkeit durch die Wahl des Photozellenmaterials vorbestimmt ist, wodurch keine beliebigen Veränderungen in den spektralen Bereichsgrenzen möglich sind.

Andererseits ist es möglich, die spektrale Anpassung auf der Emittenseite derart vorzunehmen, daß die von einem Emittor abgestrahlte Energie in einem Spektralbereich liegen sollte, der möglichst vollständig von der spektralen Empfindlichkeitscharakteristik der Photozelle umfaßt ist.

Beispielsweise sind Oxide verschiedener seltener Erden bekannt, die bestimmte Elektronenübergänge aufweisen, die scharfe Emissionslinien hervorrufen. So sind vorzugsweise auf dem vorstehend angesprochenen Bereich der Thermophotovoltaik  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  (1,29 eV),  $\text{Er}_2\text{O}_3$  (0,83 eV) und  $\text{Ho}_2\text{O}_3$  (0,62 eV) von besonderem Interesse. Die in Klammern geschriebenen Energiewerte in Elektronenvolt entsprechen den scharfen Emissionslinien der einzelnen Materialverbindungen und können somit als selektive Emittoren für die Thermophotovoltaik eingesetzt werden. Alle bekannten Oxide seltener Erden weisen jedoch hohe Abdampfraten auf und verfügen dadurch nur über eine geringe Lebensdauer, weswegen sie nur bedingt als selektive heiße Strahler eingesetzt werden können.

## Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen heißen Strahler mit wenigstens einer Metalloberfläche, die elektromagnetische Strahlung wenigstens mit Wellenlängen im infraroten Spektralbereich emittiert und über selektive

Emissionseigenschaften verfügt, derart auszugestalten, daß die Übereinstimmung des Spektralbereiches der emittierten Strahlung des heißen Strahlers mit der spektralen Empfindlichkeit von Photozellen weiter verbessert wird. Insbesondere soll der heiße Strahler im Gegensatz zu den vorstehend genannten bekannten Oxiden seltener Erden langzeitstabil sein und für einen zeitlich nahezu unbegrenzten Einsatz geeignet sein.

Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist Gegenstand des Anspruchs 1. Gegenstand des Anspruchs 8 ist ein Verfahren zur Herstellung des gemäß Anspruch 1 beschriebenen heißen Strahlers. Den erfindungsgemäßen Gedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß weist der heiße Strahler auf seiner Metalloberfläche eine Mikrostruktur mit Erhöhungen und Vertiefungen auf, deren Strukturform und -tiefe derart gewählt ist, daß in wenigstens einem bestimmten Wellenlängenbereich der emittierten Strahlung optische Resonanzen innerhalb der Mikrostruktur auftreten.

Durch die Einbringung einer, vorzugsweise periodisch verlaufenden Mikrostruktur auf der Metalloberfläche können innerhalb eines begrenzten Spektralbereiches gezielt deutliche Emissionserhöhungen erreicht werden, ohne dabei die geringe Emissivität im längerwelligen Spektralwellenbereich zu beeinflussen.

Von besonderer Bedeutung ist die geeignete Wahl der Strukturform, -tiefe sowie -periode. So treten in bestimmten Wellenlängenbereichen, innerhalb der die emittierte Strahlung des heißen Strahlers liegen durch das erfindungsgemäße Vorsehen einer periodischen Mikrostruktur auf der Metalloberfläche optische Resonanzerscheinungen auf, die zu gezielten Emissionserhöhungen führen. Es ist möglich, durch geeignete Wahl der Strukturperiode die spektrale Lage der Resonanzüberhöhungen festzulegen und durch Wahl der Gittertiefe und -form die Intensität und Schärfe dieser Resonanzen zu bestimmen.

Die erfindungsgemäße Ausbildung der Mikrostruktur auf der Metalloberfläche beeinflusst das elektromagnetische Feld entsprechend der Periodizität der Mikrostruktur. Hierbei ist es von Vorteil, wenn die periodische Abfolge zwischen den benachbarten Erhebungen der Mikrostruktur in etwa in der Größenordnung der Wellenlänge der emittierten Strahlung voneinander auseinanderliegen.

Durch die resonanten Erscheinungen treten Emissionserhöhungen auf, wodurch gezielt eine Selektion im Spektralbereich der von einem heißen Strahler emittierten Strahlung vorgenommen werden kann. Handelt es sich bei dem die Metalloberfläche bildenden Metallsubstrat um ein Metall mit Interbandübergängen, so treten die stärksten Emissionserhöhungen auf, sofern die spektrale Lage der optischen Resonanzerscheinungen mit den, durch die Art des Metalls vorgegebenen Interbandübergängen übereinstimmt und auf diese Weise mit der natürlichen Emissionserhöhung zusammenfällt.

Um die vorstehend genannten optischen Resonanzerscheinungen an der Metalloberfläche zu erzielen, ist diese mit einer Mikrostruktur zu versehen, die periodisch über die Oberfläche verteilte Erhöhungen und Vertiefungen aufweist, die typischerweise eine Strukturperiode von etwa 0,2 µm aufweisen. Ferner sind Strukturperioden zwischen vorzugsweise 0,2 µm und 5 µm vorzusehen, um Resonanzerscheinungen im optischen oder infraroten Wellenlängenbereich zu generieren. So ist es möglich, derartige Mikrostrukturen in Metall mittels Elektronenstrahlschreiben oder Ionenstrahlschreiben herzustellen, jedoch erweisen sich derartige Prozesse als sehr aufwendig und kostspielig. Erfindungsgemäß wird daher ein Verfahren zur Herstellung derartiger

heißer Strahler mit einem selektiven Emissionsspektrum mit folgenden Verfahrensschritten angeben:

Zunächst wird ein als Substrat, beispielsweise ein massives Metallstück mit einer vorzugsweise glatten Oberfläche an dieser mit einer Photoresistschicht belackt und anschließend mit Hilfe eines holographischen Musters belichtet. Holographische Belichtungsverfahren sind an sich bekannte Verfahren, mit denen ein dreidimensional ausgebildetes Interferenzmuster in die Photoresistschicht abgebildet und dort entsprechend optisch fixiert wird. Es hat sich als besonders vorteilhaft herausgestellt, daß die Photoresistschicht mit zwei zeitlich getrennten Belichtungsvorgängen belichtet wird, zwischen denen das Substrat mit der aufgetragenen Photoresistschicht gedreht wird. Auf diese Weise ist es möglich, eine dreidimensionale Strukturierung der Oberfläche mit unterschiedlichen Strukturformen gezielt herzustellen.

Nach Abschluß der Belichtung der Photoresistschicht wird diese bis hin zur Metalloberfläche des Substrates durchentwickelt. Anschließend erfolgt ein Übertrag der Struktur in die Metalloberfläche mittels reaktivem Ionenätzen oder naßchemischem Ätzen, wobei die Photoresistschicht als Ätzmaske dient.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 dreidimensionale Darstellung einer erfindungsgemäß strukturierten Metalloberfläche sowie

Fig. 2 Diagramm zur Darstellung des Reflexionsverhalten an einer erfindungsgemäß ausgebildeten Metalloberfläche verglichen mit einer glatten Metalloberfläche.

#### Beschreibung von Ausführungsbeispielen und gewerblicher Anwendbarkeit

Das Hauptanwendungsgebiet der erfindungsgemäßen heißen Strahler gemäß Patentanspruch 1 dient der optimierten Energieumsetzung zwischen elektromagnetischer Energie in elektrische Energie, die mittels an sich bekannter Photzellen, durchgeführt wird. Für die Anwendung in der Thermophotovoltaik mit Temperaturen des heißen Strahlers von bis 1500 K eignet sich als Metall besonders Wolfram, bedingt durch seine äußerst hohe Temperaturstabilität. Wird beispielsweise zur Energieumsetzung eine Photozelle mit geringem Bandabstand eingesetzt, beispielsweise unter Verwendung von Galliumantimonid, dessen Grenzwellenlänge bei 1,7  $\mu\text{m}$  liegt, so werden mit Gitterperioden, die die Mikrostruktur auf der Metalloberfläche aufweist, zwischen 1,3  $\mu\text{m}$  und 1,5  $\mu\text{m}$  bei einer Strukturtiefe von etwa 0,3  $\mu\text{m}$  die besten Ergebnisse erzielt.

In Fig. 1 ist ein perspektivisches Abbild einer erfindungsgemäß mikrostrukturierten Metalloberfläche bestehend aus Wolfram abgebildet, an deren Seitenkanten zur Hervorhebung der Dimensionierung der Mikrostruktur Skalierungen aufgetragen sind. Aus der Figur geht hervor, daß die einzelnen Erhebungen 1 der Mikrostruktur weitgehend homogen über die gesamte Metalloberfläche verteilt sind. Durch die periodische Abfolge benachbarter Erhebungen mit den dazwischen befindlichen Vertiefungen 2 stellt sich ein oberflächennahes elektromagnetisches Feld ein, das mit der elektromagnetischen Strahlung, die von der Metalloberfläche abgestrahlt wird in Wechselwirkung tritt und zu gezielten optischen Resonanzerscheinungen führt.

Grundsätzlich ist es möglich eine derartige Mikrostruktur beispielsweise auf die Oberfläche von Heizwendeln in

Glühbirnen aufzubringen, wodurch durch gezielte Resonanzüberhöhungen im sichtbaren Bereich die Strahlintensität bzw. Helligkeit der Glühbirne gesteigert werden kann. Hierdurch ist es weiter möglich, die Temperatur der Heizwendel zu reduzieren ohne einer damit verbundenen Einbuße an Helligkeit der Glühbirne. Durch Reduzierung der Betriebstemperatur kann überdies die Lebensdauer derartiger Heizwendeln verlängert werden.

Selbstverständlich kann die erfindungsgemäße Idee neben der Optimierung von Glühbirnen und dem Einsatz auf dem Gebiet der Thermophotovoltaik in anderen Bereichen eingesetzt werden, bspw. zur Optimierung von IR-Strahlungsquellen bzw. -heizungen.

In Fig. 2 ist ein Diagramm dargestellt, aus dem das Reflexionsverhalten einer erfindungsgemäß strukturierten Wolfram-Oberfläche (siehe hierzu Funktion a) und einer unstrukturierten Wolframoberfläche (siehe hierzu Funktion b) hervorgeht. Entlang der Abszisse des Diagramms ist die Wellenlänge des an der Metalloberfläche reflektierten Lichtes aufgetragen, entlang der Ordinate der Reflexionsgrad.

Deutlich ist im Funktionsverlauf a der strukturierten Wolfram-Oberfläche bei einer Wellenlänge von ca. 1,7  $\mu\text{m}$  ein starker Absorptionspeak (siehe Pfeil) zu erkennen, der nach dem Kirchhoffschen Gesetz, gemäß dem für die Emission qualitativ gilt, Emission = 1 - Reflexion, die Wirkung der selektiven Emission in diesem Wellenlängenbereich verdeutlicht. Einen derartigen Absorptionspeak, der im Funktionsverlauf a auftritt, ist in der Funktion b nicht zu verzeichnen, wodurch der Effekt der erfindungsgemäßen Mikrostruktur klar hervorgeht.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Erhebung
- 2 Vertiefung

#### Patentansprüche

1. Heißer Strahler mit wenigstens einer Metalloberfläche, die elektromagnetische Strahlung wenigstens mit Wellenlängen im sichtbaren und infraroten Spektralbereich emittiert, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Metalloberfläche eine Mikrostruktur mit Erhebungen und Vertiefungen aufweist, deren Strukturform und -tiefe derart gewählt ist, daß in wenigstens einem bestimmten Wellenlängenbereich der emittierten Strahlung optische Resonanzen innerhalb der Struktur auftreten.
2. Heißer Strahler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungen und Vertiefungen periodisch über die Metalloberfläche verteilt sind.
3. Heißer Strahler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrostruktur homogen oder statistisch auf der Metalloberfläche verteilt ist.
4. Heißer Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrostruktur Strukturperioden zwischen 0,2  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$  aufweist.
5. Heißer Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturtiefe wenigstens 0,2  $\mu\text{m}$  beträgt.
6. Heißer Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch Variation der Strukturperiode die spektrale Lage der sich ausbildenden optischen Resonanzen einstellbar ist.
7. Heißer Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Metalloberfläche aus Wolfram besteht.
8. Heißer Strahler nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß über der Metalloberfläche

che konform mit der Mikrostruktur eine dünne nicht-metallische Schicht vorgesehen ist.

9. Verfahren zur Herstellung eines heißen Strahlers nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch die Kombination folgender Verfahrensschritte: 5

- glatte Metalloberfläche wird mit einer Photoresistschicht belackt,
- Holographische Belichtung der Photoresistschicht, durch zweimalige Belichtung mit zwischenzeitlicher Drehung der Metalloberfläche, 10
- Entwicklung der belichteten Photoresistschicht und
- Übertragung der belichteten Mikrostruktur in die Metalloberfläche durch Ätzen.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Ätzvorgang mittels reaktivem Ionenätzen oder naßchemischen Ätzen durchgeführt wird. 15

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoresistschicht als Ätzmaske dient. 20

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

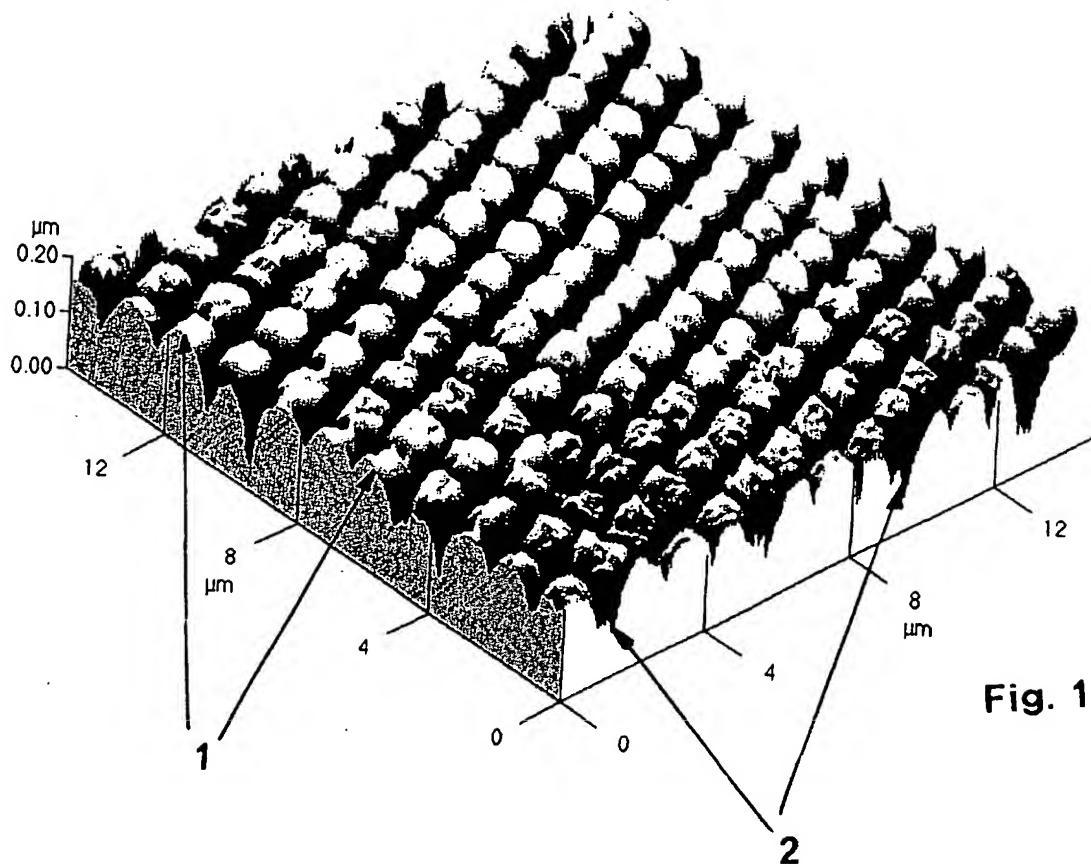


Fig. 1

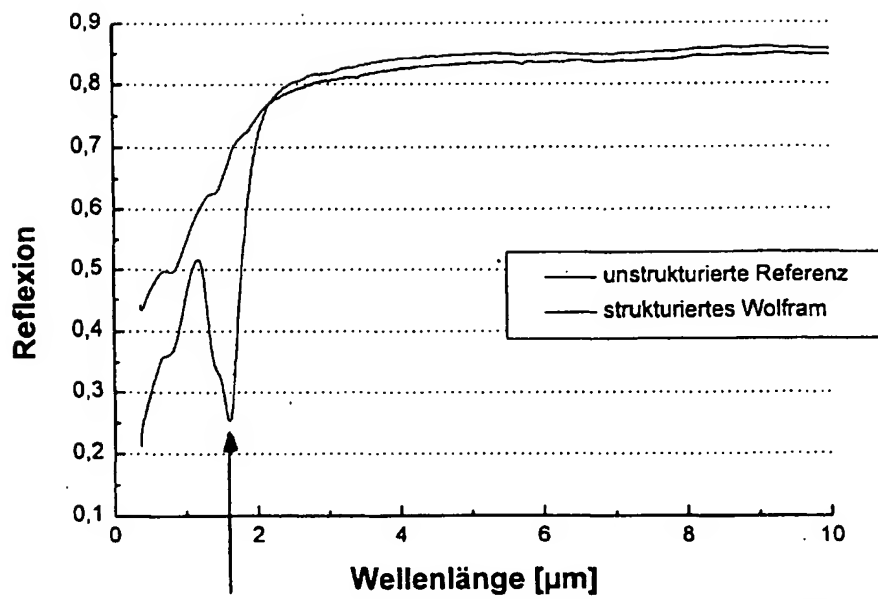


Fig. 2

BEST AVAILABLE COPY